

of Sencing and Control of Densification During Electroconsolidation / *W.M. Goldberger, R.R. Fessler* // *Advances In Process Measurements for the Ceramic Industry*. – 1999. – Vol. 18, № 42. – P. 337 – 345.

4. *Скориход В.В.* Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах / *В.В. Скориход, І.В. Уварова, А.В. Рагуля*. – К.: Академперіодика, 2001 – 180 с.

5. *Stanciu L.A.* Effects of heating rate on densification and grain growth during field activated sintering of  $Al_2O_3$  and  $MoSi_2$  / *L.A. Stanciu, V.Y. Kodash, J.R. Groza* // *Mat. Metal. Trans.* – 2001. – № 32. – P. 2633 – 2638.

6. *Berhard F.* Dense nanostructured materials obtained by Spark Plasma Sintering and Field Activated pressure assisted synthesis sintering from mechanical activated powder mixtures / *F. Berhard, S. Le Gallet, N. Spinassou* // *Science of Sintering*. – 2004. – № 36. – P. 155 – 164.

7. *Геворкян Э.С.* Горячее прессование нанопорошков монокристалла вольфрама при нагревании электрическим током / [*Э.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.А. Чижикала, П.С. Кислый*] // *Наноструктурное материаловедение*. – 2006. – № 2. – С. 46 – 51.

8. Пат. № 6617271 US, B1 МКИ С 04 В 35/36. Tungsten carbide cutting tool materials / *E.S. Gevorkian, V.Yu. Kodash*; заявл. 19.03.2002; опубл. 9.10.2003.

*Поступила в редколлегию 15.07.10*

УДК 620.193.16

**О.А. ЛИТВИНЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НУХТ, м. Київ

**О.І. НЕКОЗ**, докт. техн. наук, проф., НУХТ, м. Київ

**В.П. КАВУН**, асистент, НУХТ, м. Київ

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОДИНАМІЧНИХ КАВІТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ**

У статті наведені результати досліджень кавітаційно-ерозійної стійкості конструкційної кераміки. Встановлено, що процес її руйнування має циклічний характер і визначається коефіцієнтами інтенсивності навантаження і критичною густиною потужності деформації.

The results of researches of cavitation-erosive firmness of construction ceramics are resulted in the article. It is proved that the process of its destruction has cyclic character and concerns by the coefficients of intensity of loading and critical density of power deformation.

В процесі експлуатації робочі органи гідродинамічних кавітаційних апаратів (ГКА) зазнають спрацювання.

Через певний час роботи, що визначається фізико-хімічними властивостями оброблюваних середовищ і умовами технологічного процесу, робоча проточна камера ГКА піддається кавітаційно-ерозійному руйнуванню.

При фіксованому розміщенні кавітуючих елементів – кавітаторів – в камері ГКА змінюється величина пристінного зазору, що визначається коефіцієнтом стиснення потоку.

Внаслідок цього змінюються умови реалізації процесу оброблення, продукт не набуває необхідних властивостей (дисперсність, стабільність, стійкість до розшарування, газонасичення тощо), підвищується тривалість оброблення та питомі енерговитрати.

Традиційно для виконання робочих вузлів ГКА застосовують вуглецеві сталі звичайної якості: від тих, які є на підприємстві, до сталі 20, 45, хромисті 30Х, 40Х або їх замітники, а коли це передбачено санітарно-гігієнічними умовами або при використанні хімічно-корозійних середовищ – з нержавіючих сталей типу 12Х18Н10.

Однак, практично всі вони виявляють недостатню кавітаційно-ерозійну стійкість і мають схильність до спрацювання у відносно короткий термін.

Відомо, що зносостійкість конструкційних матеріалів у технологічних середовищах, зокрема харчової промисловості, часто зумовлена їхніми антикорозійними властивостями, а характеристики міцності мають другорядне значення [1].

Через це заслуговують на увагу полімерні, композитні та керамічні матеріали для виготовлення деталей і вузлів обладнання, при роботі якого кавітаційні режими є нормальними.

Крім того, вони мають високу корозійну стійкість, легко піддаються механічному обробленню, дешеві і недефіцитні.

Змінюючи їх склад і мікроструктуру, можна одержувати матеріали з заданими технологічними властивостями.

На нашу думку перспективним способом підвищення надійності та довговічності вузлів ГКА, зокрема проточної робочої камери, є використання для їх виготовлення неметалевих конструкційних матеріалів, зокрема керамічних.

Керамічні матеріали мають комплекс таких фізико-хімічних властивостей, що дає можливість розглядати їх як перспективний конструкційний матеріал для робочих вузлів ГКА.

Дослідженнями та з досвіду промислової експлуатації накопичено певні дані про їх властивості за різних умов експлуатації [2, 3].

Зокрема встановлено, що в керамічних матеріалах, як і в металах, внаслідок ударно-хвильової дії кавітаційних бульбашок виникають пружні де-

формації, які спричиняють утворення поверхневих тріщин, та їх поступове руйнування.

Кінетичні діаграми зношування керамічних матеріалів, одержані авторами, дозволяють спрогнозувати поведінку конструкційних матеріалів за різних умов навантаження, зокрема при циклічному навантаженні при захопленні на поверхні або біля неї кавітаційних бульбашок.

Експериментальні дослідження кавітаційного зношування зразків з керамічних матеріалів під дією ультразвукової кавітації показують, що за зносостійкістю вони не поступаються традиційним конструкційним матеріалам [5].

Попередні дослідження показали, що так званий інкубаційний період накопичення кавітаційних ушкоджень, що передуює стрибкоподібній втраті маси зразків, характерний для руйнування металевих матеріалів, для керамічних матеріалів відсутній [3].

Дослідження зносостійкості зразків з вмістом 92%  $Al_2O_3$  у водопровідній воді при частоті коливань МСВ 22 кГц показали, що за час досліджень маса зразка зменшилась на 16%.

Водночас, втрати маси зразків з сталі 45 в аналогічних умовах майже в 7 разів більші.

Відповідно до задачі досліджень способом гарячого пресування підготовлено зразки з керамічних матеріалів і визначено їх основні технічні характеристики, які наведено у таблиці.

Таблиця

Показники	Матеріал зразка			
	$Al_2O_3$ (99 %)	$Al_2O_3$ (92 %)	AlSi + $ZrO_2$	$Al_2O_3$ + $ZrO_2$
Щільність, г/см <sup>3</sup>	3,7	3,4	3,7	4,1
Міцність на згинання, МПа	300	250	300	340
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	4,0	4,0	4,0	4,3
Модуль пружності, ГПа	300	220	300	360

Дослідження кавітаційної стійкості зразків проводили на установці УЗДН-2Т з МСВ при частоті 22 і 44 кГц, амплітуді коливань концентратора МСВ 20 мкм. Зразки розміщували на певній відстані від концентратора (0,5 мм) яку контролювали за допомогою щупа.

Як робоче середовище використовували відстояну водопровідну воду,

температуру якої підтримували  $20 \pm 1$  °C і контролювали термометром ТЛ - 2.

Інтенсивність зношування визначили ваговим методом за втратою маси через фіксовані проміжки часу за допомогою лабораторних електронних вагів Radwag 210, з точністю до 0,0001 г.

Перед зважуванням зразки попередньо послідовно промивали у дистильованій воді та спирті, просушували при температурі 70...80 °C протягом 5 хв. в сушильній шафі, охолоджували та зберігали в ексікаторі.

Зразки для досліджень одержували з попередньо помеленого технічного глинозему з вмістом оксиду алюмінію  $Al_2O_3$   $\alpha$ ,  $\beta$  та  $\gamma$  модифікацій.

Вихідний матеріал подрібнювали до 2...5 мкм на вібротлинах, просіювали, змішували з пластифікатором ПВС (полівініловий спирт) та піддавали гарячому пресуванню на гідравлічному пресі під тиском 3 т/см<sup>2</sup>.

Після пресування зразки відпалювали при температурі біля 1500 °C .

Вибраний тиск, як показали мікроскопічні спостереження, забезпечує низьку пористість зразків, оскільки з її підвищенням характеристики міцності зразків знижуються внаслідок концентрації напружень навколо порожнистості (пор) та зменшення контактної поверхні зерен.

Вибрана температура випалювання дозволила перевести  $\beta$  та  $\gamma$ -модифікації глинозему в  $\alpha$ -форму, внаслідок чого відбулась його усадка та збільшився вміст дрібних часточок, що підвищує фізико-механічні властивості зразків.

Найбільшу зносостійкість мають керамічні матеріали на основі карбиду бора, дещо меншу - на основі оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ .

Однак, зважаючи на технічно-економічні показники, використання матеріалів на основі  $Al_2O_3$  більш раціональне.

Швидкість зношування визначали за відношенням  $\Delta G/\Delta t$ , де  $\Delta G$ -сумарні втрати маси зразка за час випробувань  $\Delta t$ . Для всіх досліджених зразків при встановлених частотах коливань (рис. 1 та рис. 2) виявлені певні закономірності: зношування має циклічний характер, який сильніше проявляється при частоті коливань 22 кГц, коли кавітаційний вплив найбільш жорсткий, причому незалежно від частоти коливань зношування зразків має подібний характер.

Водночас при встановлених частотах коливань МСВ спостерігається циклічний характер зміни швидкості зношування зразків протягом досліджень, що свідчить про циклічність розвитку втомлюваних тріщин і реалізації механізму руйнування внаслідок зміни щільності дислокацій в поверхневому шарі при

ультразвуковій кавітації.

Подібний характер зміни властивостей поверхневих шарів досліджуваних зразків виявлено і при гідроабразивному зношуванні [6].

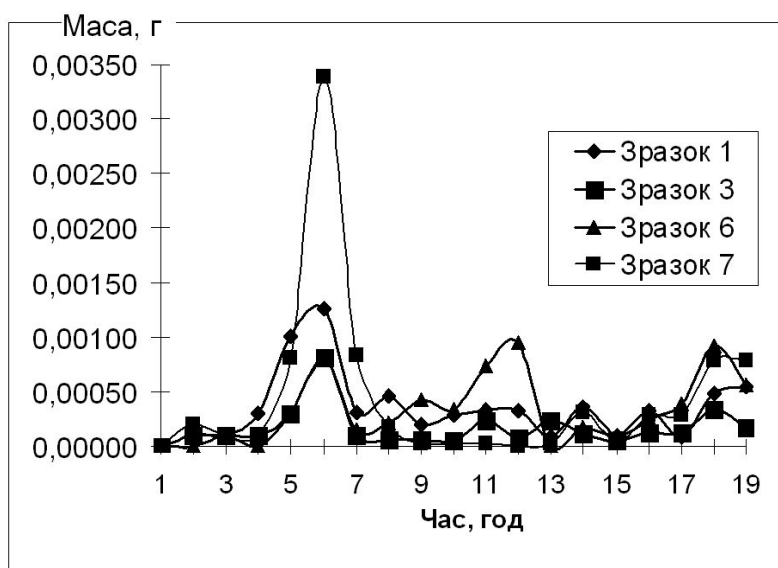


Рис. 1. Швидкість втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 22 кГц

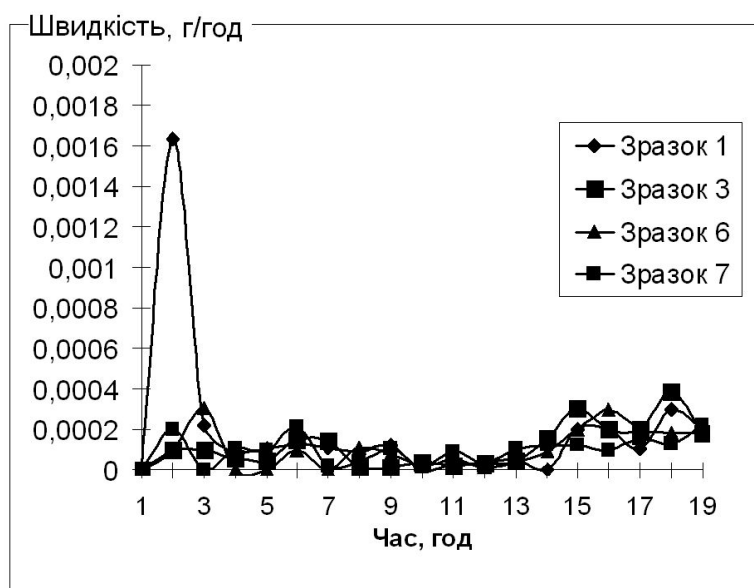


Рис. 2. Швидкість втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 44 кГц

Відповідно до структурно-енергетичної теорії зношування [4], інтенсивність руйнування матеріалів при гідродинамічному навантаженні визначається відношенням щільності потоку енергії деформації (навантаження), яка вноситься в матеріал мікроударами кумулятивних мікрострумків або абразивних часток до узагальненої критичної щільності потужності деформації (руйнування).

Однак, як показали дослідження авторів для керамічних матеріалів потужність деформації визначається не лише складом і властивостями, а й мікроструктурою матеріалу, що приводить до реалізації локальних мікротріщин, та коефіцієнтом інтенсивності напружень  $K_{Ic}$ .

### **Висновки.**

Як показали проведені дослідження, керамічні конструкційні матеріали перспективні для роботи в умовах кавітаційно-ерозійного зношування, вивчення закономірностей якого має суттєве науково-прикладне значення.

**Список літератури:** 1. *Прейс Г.А.* Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности / *Г.А. Прейс, Н.А. Сологуб, А.И. Некроз.* – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с. 2. *Прис К.М.* Кавитационная эрозия / *К.М. Прис.* // Эрозия. – М.: Мир, 1982. – С. 230 – 269 3. *Пилиповский Ю.А.* Композиционные материалы в машиностроении / [*Ю.А. Пилиповский, Т.В. Грузина, А.Б. Сапожникова и др.*]. – К. Техніка, 1990. – 141с. 4. *Погодаев Л.И.* Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / *Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин.* – С.-Пб.: Академия транспорта РФ, 2006. – 608 с. 5. *Коваленко В.Н.* Разрушение керамики при воздействии кавитации / *В.Н. Коваленко, В.Г. Маринин.* – Х.: ХФТИ АН УССР, 1988. – 7 с. – (Препринт ХФТИ 88-65) 6. *Опанащук Н.Ф.*, Кавитационная стойкость порошковых материалов на основе тугоплавких соединений / [*Н.Ф. Опанащук, А.И. Некоз, А.Б. Жидков и др.*] // Проблемы трения и изнашивания. – 1983. – № 24. С. 70 – 74. 7. *Балкевич В. Л.* Техническая керамика / *Н.Ф. Опанащук.* – М.: Издательство литературы по строительству, 1986. – 33 с.

*Надійшла до редколегії 15.06.10*